

2023 年度年次報告書

革新的な量子情報処理技術基盤の創出

2021 年度採択研究代表者

池田 達彦

理化学研究所 量子コンピュータ研究センター／科学技術振興機構
研究員／さがけ研究者

多体波動関数物性の量子シミュレーション

研究成果の概要

本研究の目的は、商用量子コンピュータ実機および GPU シミュレータを使って量子多体系 (特にその非平衡状態) の波動関数を解析するための技術的基盤を構築することである。量子多体系の数値解析は (系の自由度の) 指数関数的に困難になるため少数自由度の解析に限られてしまうが、量子技術によってこの困難を乗り越えることを目標としている。ひいてはこの技術を用いて、物性物理学や量子統計物理学の未解決問題を解決することを目指している。

2023 年度は量子回路上で量子多体系のダイナミクスをシミュレートするための基盤として広く用いられている Trotter 分解に関する 3 つの成果が得られた。第一に、昨年度に明らかにした時間依存ハミルトニアンに対する 4 次の最小公式をさらに 6 次まで拡張するなどの一般化に成功した。第二に、Trotter 分解に基づいて量子シミュレーションを行う際の誤差をコントロールする手法「Trotter24」を開発した。古典シミュレーションが不可能な領域で量子シミュレーションを行う場合、厳密解を知らずに Trotter 分解の誤差の大きさを見積もることは単純には難しい。そこで Trotter24 では、2 次と 4 次の Trotter 分解を併用することで、この誤差を量子コンピュータ実機で見積もり、最適な時間刻みを適応的に選択できる。Trotter 分解に基づく量子シミュレーションを精度保証付きに格上げする重要な成果と言える。最後に、Trotter 分解と等価な周期駆動 (フロケ) 系の長時間シミュレーションを量子回路シミュレータを用いて 30 量子ビットまで達成し、周期駆動による加熱に対して異常に安定な状態が存在することを発見した。フロケ系の研究で通常用いられる厳密対角化法が 20 量子ビット程度で計算の限界を迎えるため、有意に大きな量子ビット数にアクセスできる別の手法を導入し、実際に新しい物理的結果を得たことは注目に値する。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Tatsuhiko N. Ikeda, Asir Abrar, Isaac L. Chuang, Sho Sugiura, “Minimum Trotterization Formulas for a Time-Dependent Hamiltonian,” *Quantum* 7, 1168 (2023).
- 2) Tatsuhiko N. Ikeda, Hideki Kono, Keisuke Fujii, “Trotter24: A precision-guaranteed adaptive stepsize Trotterization for Hamiltonian simulations,” *arXiv preprint arXiv:2307.05406*
- 3) Tatsuhiko N. Ikeda, Sho Sugiura, Anatoli Polkovnikov, “Robust effective ground state in a nonintegrable Floquet quantum circuit,” *arXiv preprint arXiv:2311.16217*